



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

**COPIE OFFICIELLE**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **22 MARS 2001**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30  
<http://www.inpi.fr>

***This Page Blank (uspto)***

**INPI**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITE**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**

N°11354\*01

REQUETE EN DELIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire DB 540W/260899

Réserve à l'INPI

REMISE DES PIÈCES  
DATE

LIEU

N° ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI

DATE DE DEPOT ATTRIBUEE

PAR L'INPI

29 AOUT 2000

**1** NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
A QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ETRE ADRESSEEMonsieur MAILLET Alain  
**CABINET LE GUEN ET MAILLET**  
**BREVETS - MARQUES - MODÈLES**  
5, Place Newquay - BP 70250  
35802 DINARD CEDEX

Vos références pour ce dossier :

7388

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☒ N° attribué par l'INPI à la télécopie**2** NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

Ou demande de certificat d'utilité

N°

Date

initiale

Transformation d'une demande de

Brevet européen

Demande de brevet initiale

☐

N°

Date

**3** TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

Méthode de détection multi-utilisateur

**4** DECLARATION DE PRIORITE

OU REQUETE DU BENEFICE DE

LA DATE DE DEPOT D'UNE

DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ s'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé "Suite"**5** DEMANDEUR☐ s'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé "suite"

Nom ou dénomination social

MITSUBISHI ELECTRIC INFORMATION TECHNOLOGY  
CENTRE EUROPE B.V.

Prénoms

Forme Juridique

SARL de droit néerlandais

N° SIREN

Code APE-NAF

Adresse

Rue

Keienbergweg 58  
1101 AG AMSTERDAM  
ZUIDOOST

Code postal et ville

Pays

PAYS BAS

Nationalité

Néerlandaise


N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

**INPI**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DELIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE <b>29/07/00</b> LIEU <b>99</b> N° ENREGISTREMENT <b>0011250</b> NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI		Réserve à l'INPI	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		<b>7388</b>	
<b>⑥ MANDATAIRE</b>			
Nom		MAILLET	
Prénom		Alain	
Cabinet ou Société		Cabinet LE GUEN & MAILLET	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	38, rue Levassasseur BP 91	
	Code postal et ville	35802	DINARD Cedex
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		02 99 46 55 19	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		02 99 46 41 80	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		leguen.maillet@wanadoo.fr	
<b>⑦ INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur (s) séparée	
<b>⑧ RAPPORT DE RECHERCHE</b>			
Etablissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input type="checkbox"/> Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>⑨ REDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques. <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé "suite", Indiquez le nombre de pages jointes			
<b>⑩ SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		<b>VISA DE LA PREFECTURE</b> <b>A. PAGNIER</b> INPI	
A. MAILLET 92 3086			

**INPI**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**DEPARTEMENT DES BREVETS**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITE**

Code de la propriété intellectuelle – Livre VI

**cerfa**

N°11235\*02

**DESIGNATION DE L'INVENTEUR (S)** Page N° .../...  
(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W/260899

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		7388	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>			
0011250			
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
Méthode de détection multi-utilisateur			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> MITSUBISHI ELECTRIC INFORMATION TECHNOLOGY CENTRE EUROPE B.V. Keienbergweg 58 1101 AG AMSTERDAM ZUIDOOST PAYS BAS			
<b>DESIGNE (NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite "page N°1/1" S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		BRUNEL	
<b>Prénoms</b>		Loïc	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	Immeuble Germanium 80, avenue des Buttes de Coësmes	
	<b>Code postal et ville</b>	35700	RENNES
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		A. MAILLET 924036	

***This Page Blank (uspto)***

La présente invention concerne de manière générale une méthode de détection multi-utilisateur (Multi User Detection ou MUD). Plus précisément, la présente invention a trait à une méthode itérative d'élimination de l'interférence entre utilisateurs (Multiple Access Interference ou MAI). La présente invention s'applique  
5 plus particulièrement à la téléphonie mobile en mode DS-CDMA (Direct Sequence - Code Division Multiple Access) c'est-à-dire à la téléphonie mobile utilisant un mode d'accès à répartition par codes avec étalement spectral par séquences directes.

Dans un système de téléphonie mobile DS-CDMA, la séparation des différents utilisateurs se fait en multipliant chaque symbole de l'utilisateur par une séquence  
10 d'étalement qui lui est propre, encore appelée pour cette raison signature de l'utilisateur, les différentes signatures étant idéalement choisies orthogonales. La fréquence de séquence d'étalement (chip rate) étant supérieure à la fréquence des symboles, le signal transmis par chaque utilisateur est distribué (ou étalé) dans l'espace des fréquences. A la réception, la séparation du signal d'un utilisateur est  
15 réalisée grâce à un filtrage adapté à la signature correspondante. Ce filtrage est également appelé « désétalement » (de-spreading). Le rapport entre la bande occupée par le signal étalé et la bande occupée par le signal d'information est appelé facteur d'étalement.

Les signatures employées doivent présenter des bonnes propriétés de corrélation  
20 à savoir un pic d'auto-corrélation très prononcé et de faibles valeurs d'inter-corrélation.

La première de ces deux caractéristiques permet la synchronisation de la séquence reçue. Elle est très utile lorsque le canal de transmission d'un utilisateur comporte plusieurs trajets de propagation. En effet, chaque trajet peut alors être isolé  
25 grâce à un filtrage adapté à la signature et au retard du trajet. On peut tirer parti de la diversité de propagation au sein du canal pour augmenter le rapport signal à bruit en réception. Pour ce faire, on utilise un banc de filtres adaptés séparant les différents trajets et on en combine les sorties. La combinaison la plus répandue est le MRC (*Maximum Ratio Combining*), qui consiste à multiplier le signal en sortie de chaque  
30 filtre adapté par le conjugué du coefficient multiplicatif complexe introduit par le canal sur le trajet concerné. L'opération de filtrage résultante est un filtrage adapté au filtre équivalent du canal. De par sa structure, le récepteur ainsi constitué est appelé récepteur en râteau ou récepteur Rake. Bien entendu, la séparation parfaite des trajets n'a lieu que si l'auto-corrélation est un Dirac. Dans la pratique cependant, la

séparation n'est pas complète et laisse subsister une interférence multi-trajet que l'on appelle encore bruit propre (*Self noise*). La Fig. 1 représente de manière schématique un système DS-CDMA avec  $K$  utilisateurs. Les données d'un utilisateur  $k$  sont étalées en fréquence par la signature correspondante dans le module  $100_k$  avant d'être  
 5 transmises sur un canal  $110_k$  comportant  $P$  trajets. A la réception, pour un utilisateur  $k$  donné, les signaux s'étant propagés selon les différents trajets  $p=1..P$  du canal sont séparés par des filtres adaptés  $120_{k,1}...120_{k,P}$  (seule la batterie de filtres de l'utilisateur  $k$  a été représentée) avant d'être pondérés par un jeu de coefficients complexes  $c_{k,p}$ . Les signaux ainsi pondérés sont sommés ( $140_k$ ) et la somme résultante en sortie du  
 10 récepteur Rake est ultérieurement détectée pour fournir une estimation des données de l'utilisateur  $k$ . Dans le cas d'une liaison descendante (liaisons d'une station de base vers un terminal mobile) les canaux 1 à  $K$  sont identiques alors qu'ils diffèrent dans la liaison montante (liaisons de terminaux mobiles vers la station de base). Le premier cas peut, de ce point de vue, être considéré comme un cas particulier du second.

15 La seconde caractéristique énoncée plus haut garantit un faible niveau d'interférence entre deux utilisateurs distincts. Néanmoins, là aussi, en pratique, l'inter-corrélation entre deux signatures est rarement nulle. Cela est notamment le cas en situation dite d'éblouissement (*Near-far effect*) où un signal de forte puissance reçu d'un utilisateur perturbe la réception d'un signal de faible puissance provenant d'un  
 20 autre utilisateur. D'autre part, lorsque le nombre d'utilisateurs est élevé, proche du facteur d'étalement, la somme des interférences des différents utilisateurs, faibles si on les prend isolément, peut avoir des effets très perturbateurs pour la détection.

Pour combattre l'interférence multi-utilisateur, plusieurs méthodes ont été proposées. On en trouvera une revue dans l'article de Simon Moshavi intitulé « Multi-  
 25 user detection for DS-CDMA communications » paru dans IEEE Communications Magazine, Oct. 96, pages 124-136. Parmi les techniques multi-utilisateur existantes, les techniques d'élimination soustractive (*Subtractive Interference Cancellation*) présentent de bonnes performances pour une complexité de mise en œuvre raisonnable. L'idée générale en est simple : à partir d'une première détection en sortie  
 30 de filtre adapté, on reconstruit par ré-étalement les contributions à l'interférence subie par les autres utilisateurs. On soustrait ensuite cette interférence au signal reçu pour fournir un signal épuré à une étape de détection ultérieure. Selon la manière dont la soustraction est effectuée, on distingue l'élimination parallèle (PIC pour *Parallel*



*Interference Cancellation*) et l'élimination série des interférences (SIC pour *Serial Interference Cancellation*).

La méthode d'élimination parallèle est illustrée en Fig. 2: le signal reçu est filtré par une batterie de filtres adaptés ( $200_1, 200_2, \dots, 200_K$ ), chaque filtre adapté étant relatif à un utilisateur donné. Après détection ( $210_k$ ), les symboles estimés sont rééchantillonnés ( $220_k$ ) spectralement au moyen de la signature de l'utilisateur en question avant d'être filtrés par un filtre modélisant le canal de transmission ( $230_k$ ). On dispose ainsi en sortie de ( $230_k$ ) d'une estimation de la part contributive du signal reçu attribuable à l'utilisateur  $k$ . On soustrait (en ( $240_k$ )) du signal reçu la somme des parts contributives des autres utilisateurs pour obtenir un signal épuré  $S_k^{(1)}$ . Ce signal épuré peut directement faire l'objet d'une détection après désétalement ou bien le processus d'élimination peut être itéré. La détection étant de meilleure qualité à chaque itération, on obtient alors, au fil des itérations successives, des signaux  $S_k^{(i)}$  de mieux en mieux débarrassés de l'interférence multi-utilisateur.

La méthode d'élimination série est illustrée en Fig. 3 : les signaux reçus par les différents utilisateurs sont tout d'abord ordonnés par ordre de puissance décroissante, soit  $1, \dots, K$ . On procède alors par éliminations successives des parts contributives en commençant par le signal de plus forte puissance. A cette fin, le détecteur SIC comporte une série d'étages en cascade, chacun éliminant l'interférence due à un utilisateur particulier. Le premier étage travaille sur le signal d'antenne et chaque étage ultérieur reçoit en entrée la sortie de l'étage précédent. Chaque étage comporte un filtre adapté ( $300_k$ ), un détecteur ( $310_k$ ), un module ( $320_k$ ) de réétalement des symboles, un filtre ( $330_k$ ) modélisant le canal de transmission  $k$  et un soustracteur ( $340_k$ ) éliminant la contribution due à l'utilisateur  $k$ . Chaque étage fournit également en sortie du détecteur ( $310_k$ ) une décision sur le symbole reçu,  $\hat{S}_k$  et le processus d'élimination d'interférence prend fin au  $K^{\text{ième}}$  étage.

Une autre méthode d'élimination série est la détection par forçage à zéro à retour de décision (ZF-DF pour Zero-Forcing Decision-Feedback). Selon cette méthode illustrée en Fig. 4, le signal reçu est filtré et recombinaison par une batterie de filtres adaptés ( $400_1, \dots, 400_K$ ) avant de subir un traitement linéaire (405) consistant en une multiplication par la matrice  $(F^T)^{-1}$  où  $F$  est la matrice triangulaire inférieure obtenue par décomposition de Cholesky de la matrice de corrélation  $R$  des signatures des différents utilisateurs ( $R = F^T F$ ). Le traitement matriciel a pour effet de partiellement décorréler les signaux des différents utilisateurs. Les signaux ainsi

partiellement décorrélés sont ensuite soumis à une élimination série, après avoir été classés par ordre décroissant d'amplitude, soit  $A_1, \dots, A_K$ . Le détecteur comporte une pluralité d'étages, chaque étage  $i$  comprenant un détecteur (410<sub>i</sub>) dont la sortie est multipliée par des multiplieurs (415<sub>i,i+1</sub>), ..., (415<sub>i,K</sub>) pour fournir des produits  $A_i F_{k,i}$  avec  $i < k$ , où  $F_{k,i}$  est un élément de la matrice  $F$ . En entrée de chaque étage ( $k$ ) on soustrait (416<sub>i,k</sub>) la somme  $\sum_{i=1}^{k-1} A_i F_{k,i} \hat{s}_i$  où  $\hat{s}_i$  est le symbole estimé pour l'utilisateur  $i$ , c'est-à-dire la somme des contributions des utilisateurs précédents  $i < k$ . La décision (410<sub>k</sub>) relative au symbole transmis par l'utilisateur  $k$  est prise sur le signal ainsi épuré. On obtient en progressant d'étage en étage les symboles estimés  $\hat{s}_k$  des différents utilisateurs.

Les techniques exposées ci-dessus s'appliquent bien à la situation simple où le canal de transmission d'un utilisateur comporte un seul trajet. Dans ce cas, le filtre modélisant le canal peut se limiter à la multiplication par un coefficient complexe. Lorsque les canaux sont multi-trajet, la situation est en revanche beaucoup plus complexe car il faut procéder à la fois à l'élimination de l'interférence multi-trajet et de l'interférence multi-utilisateur. Un détecteur itératif à élimination soustractive de l'interférence multi-utilisateur en présence de trajets multiples a été proposé dans un article de M.C. Reed et al. intitulé « Iterative Multiuser detection using antenna arrays and FEC on multipath channels » publié dans IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, N°12, Dec.'99, pages 2082-2089. Chaque itération de la détection comprend un filtrage adapté, une formation de voies et une combinaison de type Rake. La méthode proposée présuppose cependant que l'on détermine les coefficients d'atténuation, les rotations de phase ainsi que les directions d'arrivée de tous les trajets de tous les utilisateurs. Cette détermination peut être effectuée par exemple en corrélant des symboles pilotes émis par les différents utilisateurs dans des filtres adaptés. Cependant cette détermination est souvent imprécise, ce qui se traduit par une élimination imparfaite voire erronée de l'interférence multi-utilisateur.

Un but de la présente invention est de proposer une méthode et un dispositif de détection qui améliorent l'élimination de l'interférence multi-utilisateur en présence de canaux multi-trajet. Un but subsidiaire de la présente invention est la détermination simple et précise des coefficients d'atténuation et des rotations de phase relatifs aux trajets des canaux de transmission des différents utilisateurs.

L'invention est définie par une méthode de détection multi-utilisateur avec élimination d'interférence entre utilisateurs, chaque utilisateur transmettant des

données modulées sous forme de symboles sur un canal de transmission, chaque canal de transmission ( $k$ ) comprenant au moins un trajet de propagation ( $p$ ) et chaque trajet de propagation arrivant sur un réseau d'antennes ( $\ell$ ) de réception selon une direction d'arrivée  $\theta_{p,k}$ , la méthode comprenant au moins une séquence d'étapes pour chaque utilisateur, chaque séquence comprenant elle-même :

- 5 (a) une étape d'estimation du signal transmis par l'utilisateur à partir des signaux d'antennes, ladite étape effectuant une estimation de la direction d'arrivée ( $\theta_{p,k}$ ) et de caractéristiques ( $\alpha_{p,k}, \nu_{p,k}$ ) de propagation de chaque trajet ( $p$ ) du canal de transmission ( $k$ ) à partir desdits signaux ;
- 10 (b) une étape d'estimation des données transmises par l'utilisateur à partir de ladite estimation du signal transmis ;
- (c) une étape d'estimation de la contribution de l'utilisateur aux signaux reçus par les différentes antennes à partir des données estimées à l'étape (b) et de la direction d'arrivée ainsi que les caractéristiques de propagation estimées à l'étape (a) ;
- 15 (d) une étape d'élimination d'interférence soustrayant aux signaux d'antennes la contribution estimée à l'étape (c) pour obtenir des signaux d'antennes épurés ; les signaux d'antennes épurés fournis par au moins une première séquence étant utilisés comme signaux d'antennes par au moins une seconde séquence.

Selon un premier mode de réalisation, pour un utilisateur donné  $k$ , l'interférence est éliminée en soustrayant aux signaux d'antennes les contributions de tous les autres utilisateurs.

Selon un second mode de réalisation, les utilisateurs sont classés par ordre de puissance reçue et l'interférence est éliminée en soustrayant l'une après l'autre les contributions des différents utilisateurs en commençant par les utilisateurs de plus fortes puissances reçues.

Avantageusement, pour chaque utilisateur  $k$ , ladite séquence comprend après l'étape d'estimation desdites données, une étape de désentrelacement suivie d'une étape de décodage canal et de codage canal et d'une étape d'entrelacement desdites données.

30 Selon une caractéristique de l'invention, pour chaque utilisateur  $k$ , ladite séquence comprend préalablement à l'étape d'estimation de la contribution de l'utilisateur aux signaux reçus, une étape de modulation et de réétalement spectral au moyen de la signature ayant servi à étaler spectralement les symboles dudit utilisateur.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les estimations des signaux transmis des utilisateurs étant considérées comme un vecteur d'estimations à K composantes où K est le nombre d'utilisateurs, ledit vecteur est soumis à un filtrage matriciel transverse avant l'étape de décision .

5 Selon une variante de ce mode de réalisation, les données estimées et remodulées des utilisateurs étant considérées comme un vecteur de symboles à K composantes, ledit vecteur de symboles est soumis à un filtrage matriciel postcurseur et la sortie de ce filtrage est soustraite, vecteur à vecteur, à la sortie du filtrage matriciel transverse.

10 Alternativement, les symboles issus de l'étape de modulation étant considérés comme un vecteur de symboles à K composantes, ledit vecteur de symboles est soumis à un filtrage matriciel postcurseur et la sortie de ce filtrage est soustraite, vecteur à vecteur, à la sortie du filtrage matriciel transverse .

Selon un exemple de réalisation de l'invention, les estimations des signaux  
15 transmis par les différents utilisateurs sont soumises à une multiplication matricielle par une matrice  $(F^T)^{-1}$  avant l'étape d'estimation des données, où  $F^T$  est la transposée de la matrice triangulaire inférieure F obtenue par décomposition de Cholesky de la matrice de corrélation des signatures ayant servi à étaler spectralement les symboles desdits utilisateurs, l'interférence étant éliminée, pour un utilisateur k donné, dans une  
20 première phase, en soustrayant de la  $k^{ième}$  composante du produit matriciel la somme  $\sum_{i=1}^{k-1} A_i F_{k,i} \hat{s}_i$  où  $A_i$  est l'amplitude du signal transmis par l'utilisateur i,  $\hat{s}_i$  est le symbole obtenu par remodulation des données estimées de l'utilisateur i et  $F_{k,i}$  le (k,i) ième élément de la matrice F, l'estimation des données transmises par l'utilisateur k étant effectuée à partir de la  $k^{ième}$  composante après ladite soustraction et, dans une  
25 seconde phase, en soustrayant aux signaux reçus par les différentes antennes, la somme des contributions de tous les autres utilisateurs.

Avantageusement, pour chaque utilisateur k, l'étape d'estimation du signal transmis par l'utilisateur, sur le canal de transmission (k), comprend une formation de voies dans les directions d'arrivée des différents trajets de propagation (p) dudit canal.

30 En outre, la formation de voie pour un trajet de propagation d'un canal de transmission peut placer des zéros dans les directions d'arrivée des autres trajets de propagation du même canal de transmission.

La formation de voie ( $520_{p,k}$ ) pour un trajet de propagation ( $p$ ) d'un canal de transmission ( $k$ ) peut encore placer des zéros dans les directions d'arrivée de tous les trajets de propagation des autres canaux de transmission.

Avantageusement, pour chaque canal de transmission ( $k$ ), les résultats de formation de voies sont pondérés ( $540_{1,k}, \dots, 540_{P,k}$ ) par des coefficients complexes puis sommés, lesdits coefficients étant obtenus à partir des caractéristiques estimées ( $\hat{\alpha}_{p,k}, \hat{v}_{p,k}$ ) de propagation des différents trajets ( $p$ ) du canal de transmission ( $k$ ).

Selon une caractéristique de l'invention, pour chaque utilisateur  $k$ , les directions d'arrivée et les caractéristiques de propagation des différents trajets sont estimées à partir de la connaissance a priori d'un symbole transmis par ledit utilisateur.

Selon un mode de réalisation important de l'invention, la méthode de détection multi-utilisateur comprend l'itération d'un ensemble de séquences, chaque séquence d'un utilisateur de la seconde itération et des itérations suivantes opérant sur le jeu de signaux d'antennes dont les contributions des autres utilisateurs ont été éliminées à l'itération précédente.

Avantageusement, à la première itération, pour chaque utilisateur, les directions d'arrivée et les caractéristiques de propagation des différents trajets sont estimées à partir de la connaissance a priori d'au moins un symbole pilote transmis par ledit utilisateur et, aux itérations ultérieures, cette estimation est effectuée à partir d'au moins une donnée estimée et remodulée à une itération précédente en sus dudit symbole pilote.

En outre, si les caractéristiques de propagation des différents trajets sont connues a priori, la première itération peut opérer sans formation de voies, en mode omni-directionnel, la formation de voies étant appliquée dès la seconde itération.

L'invention est également définie par un dispositif de détection multi-utilisateur comprenant des moyens adaptés à mettre en œuvre la méthode exposée ci-dessus.

Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description faite en relation avec les Figs. jointes, parmi lesquelles :

La Fig. 1 représente de manière schématique un système de télécommunication DS-CDMA ;

La Fig. 2 représente de manière schématique un dispositif de détection multi-utilisateur de type PIC ;

La Fig. 3 représente de manière schématique un dispositif de détection multi-utilisateur de type SIC ;

La Fig. 4 représente de manière schématique un dispositif de détection multi-utilisateur de type ZF-DF ;

5        La Fig. 5 représente un récepteur de type Rake utile au dispositif selon l'invention ;

La Fig. 6 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

10       La Fig. 7 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un second mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 8 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 9a représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un quatrième mode de réalisation de l'invention ;

15       La Fig. 9b représente de manière équivalente un dispositif de détection multi-utilisateur selon le quatrième mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 10 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un cinquième mode de réalisation de l'invention.

20       L'idée générale à la base de l'invention est d'imbriquer dans un processus de détection multi-utilisateur l'estimation des coefficients complexes (incluant l'atténuation et la rotation de phase) et des directions d'arrivée des trajets de propagation. Ainsi, le processus de réjection d'interférence bénéficie d'une meilleure précision de l'estimation des contributions respectives des différents utilisateurs dans  
25 le signal reçu. Réciproquement, le processus d'estimation des coefficients complexes bénéficie de la réjection de l'interférence multi-utilisateur en opérant sur des signaux épurés.

Le dispositif selon l'invention utilise un récepteur de type Rake illustré en Fig. 5. Sa particularité par rapport à un récepteur Rake conventionnel est d'intégrer une  
30 formation de faisceau selon les directions d'arrivée des différents trajets. Le dispositif selon l'invention comporte un récepteur de ce type par utilisateur, un seul récepteur ( $500_k$ ) étant illustré en Fig. 5. Pour des raisons de simplicité de notation, les différents éléments du récepteur ( $500_k$ ) sont dépourvus de l'indice  $k$ . Le récepteur ( $500_k$ ) reçoit les sorties des antennes  $1, \dots, L$  d'un réseau d'antennes, de préférence linéaire et

- uniforme bien que d'autres types de réseaux puissent également être envisagés, notamment des réseaux circulaires. Les signaux d'antennes sont filtrés par un filtrage adapté à la signature de l'utilisateur  $k$  afin de désétaler sa contribution au signal reçu. Plus précisément, chaque signal de sortie d'antenne est désétalé dans une batterie de
- 5 filtres adaptés ( $510_1, \dots, 510_P$  où  $P$  est le nombre de trajets et  $\ell=1..L$  est l'indice de l'antenne) fournissant en sortie les signaux relatifs aux différents trajets du canal de transmission de l'utilisateur  $k$ . Les signaux correspondants à un même trajet  $p=1..P$  sont dirigés vers des moyens de formation de voies ( $520_1, \dots, 520_P$ ) ainsi que vers des estimateurs de canal et de direction d'arrivée ( $530_1, \dots, 530_P$ ).
- 10 Nous allons tout d'abord expliciter la fonction des estimateurs ( $530_p$ ),  $p=1..P$ .
- Si l'on note  $x_{\ell,p,k}$  la contribution reçue par l'antenne  $\ell$ ,  $\ell = (1, \dots, L)$  attribuable à un trajet  $p=1..P$  du canal  $k=1..K$  on peut écrire:

$$x_{\ell,p,k}(t) = \alpha_{p,k}(t) \cdot e^{j\xi_{\ell,p,k}} \cdot b_k(t) + n_{\ell,p,k}(t)$$

15

avec

$$\xi_{\ell,p,k}(t) = \nu_{p,k}(t) + (\ell - 1) \cdot \varphi_{p,k}(t) = \nu_{p,k}(t) + 2\pi \frac{d}{\lambda} (\ell - 1) \cos(\theta_{p,k}(t))$$

- 20 où  $b_k(t)$  est le symbole émis par l'utilisateur  $k$ ,  $n_{\ell,p,k}(t)$  est le bruit supposé blanc additif gaussien au niveau de l'antenne  $\ell$  pour le trajet  $p$  de l'utilisateur  $k$ , incluant le bruit thermique, l'interférence multi-trajet et l'interférence multi-utilisateur,  $d$  est le pas du réseau et  $\lambda$  est la longueur d'onde.

- La propagation suivant le trajet  $p$  d'un utilisateur  $k$  est ainsi modélisée par un
- 25 coefficient d'atténuation  $\alpha_{p,k}(t)$  et une rotation de phase  $\nu_{p,k}(t)$ . Le déphasage total  $\xi_{\ell,p,k}(t)$  résulte d'une part de la rotation de phase  $\nu_{p,k}(t)$  induite sur le trajet  $p$  et d'autre part de la différence de marche entre l'antenne  $\ell$  et l'antenne de référence 1 sous l'angle d'arrivée  $\theta_{p,k}(t)$ .

- L'estimateur ( $530_p$ ) a pour fonction d'estimer d'une part le coefficient
- 30 d'atténuation  $\alpha_{p,k}$  et la rotation de phase  $\nu_{p,k}$  et d'autre part l'angle d'arrivée  $\theta_{p,k}$ . L'estimateur effectuera de préférence une estimation conjointe canal et direction d'arrivée selon la méthode exposée dans la demande de brevet française intitulée « Méthode d'estimation conjointe de canal et de direction d'arrivée » et déposée le même jour par la requérante. Le contenu de cette demande est inclus ici par référence.

Ladite méthode d'estimation conjointe consiste à chercher les valeurs  $\theta_{p,k}$ ,  $\alpha_{p,k}$  et  $\nu_{p,k}$  telles que la distance quadratique  $D_{p,k}$  soit minimale.

$$D_{p,k} = \sum_{t=1}^T \sum_{\ell=1}^L |x_{\ell,p,k}(t) - \alpha \cdot e^{j\xi_{\ell,p,k}} \cdot b_k(t)|^2$$

5

L'estimation est effectuée en trois étapes :

**Etape 1 :** on estime  $\xi_{\ell,p,k}$  en minimisant la distance quadratique  $D_{\ell,p,k}$  au niveau de chaque antenne :

10

$$D_{\ell,p,k} = \sum_{t=1}^T |x_{\ell,p,k}(t) - \alpha \cdot e^{j\xi_{\ell,p,k}} \cdot b_k(t)|^2$$

**Etape 2 :** on estime  $\theta_{p,k}$  et  $\nu_{p,k}$  à partir d'une régression linéaire sur les valeurs estimées  $\hat{\xi}_{\ell,p,k}$  ;

15

**Etape 3 :** à partir des valeurs estimées  $\hat{\nu}_{p,k}$  et  $\hat{\theta}_{p,k}$  on estime finalement  $\alpha_{p,k}$  en minimisant la distance quadratique  $D_{p,k} = \sum_{\ell=1}^L D_{\ell,p,k}$ . On obtient ainsi une valeur estimée  $\hat{\alpha}_{p,k}$ .

20

L'estimation est effectuée en parallèle pour tous les trajets  $p$  des utilisateurs  $k$ . La valeur estimée  $\hat{\theta}_{p,k}$  est fournie au formateur de voie (520<sub>p</sub>) de manière à ce qu'il pointe son faisceau de réception dans la direction d'arrivée du trajet  $p$ . La formation de voie est classique et ne sera donc pas décrite plus avant. Dans une variante de réalisation non représentée, chaque formateur de voie (520<sub>p</sub>) reçoit également les valeurs estimées  $\hat{\theta}_{p',k}$  fournies par les autres estimateurs (530<sub>p'</sub>),  $p' \neq p$ , des trajets  $p'$  du même utilisateur. Ceci permet au formateur de voie (520<sub>p</sub>) de placer des zéros dans le diagramme de réception pour les directions concernées ( $\hat{\theta}_{p',k}$ ,  $p' \neq p$ ) de manière à mieux séparer les signaux reçus des différents trajets. Dans une variante également non représentée, chaque formateur de voie (520<sub>p</sub>) d'un utilisateur  $k$  reçoit les valeurs estimées  $\hat{\theta}_{p',k}$  ( $k' \neq k$ ) de toutes les directions d'arrivée des autres utilisateurs de manière à pouvoir également placer des zéros dans ces directions.

25

30

Les valeurs estimées  $\hat{\alpha}_{p,k}$  et  $\hat{\nu}_{p,k}$  sont transmises à un multiplicateur complexe (540<sub>p</sub>) qui multiplie le signal de sortie du formateur de voie (530<sub>p</sub>) par le coefficient complexe  $\hat{\alpha}_{p,k} \cdot e^{-j\hat{\nu}_{p,k}}$ . Les sorties des  $P$  multiplicateurs sont alors sommées dans un



sommateur (550) pour fournir une sortie de type MRC (Maximum Ratio Combining). L'opération effectuée par le récepteur ( $500_k$ ) est alors un filtrage adapté. Si en lieu et place de la sommation, un simple maximum des valeurs en sortie des différentes branches est calculé, l'expression de « filtrage adapté » n'est plus appropriée (ce n'est plus un filtrage). Nous désignerons cependant par la suite le récepteur ( $500_k$ ),  
 5 récepteur « de type Rake » quel que soit le type de traitement en sortie des branches. Dans tous les cas, le signal de sortie  $S_k$  représente une estimation de la contribution de l'utilisateur  $k$  au signal reçu par le réseau.

La Fig. 6 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un premier  
 10 exemple de réalisation de l'invention. L'interférence multi-utilisateur  $y$  est éliminée selon un mode parallèle.

Les sorties des antennes 1..L du réseau sont toutes reliées à une batterie de récepteurs de type Rake ( $600_1, \dots, 600_K$ ) dont la structure a été décrite en Fig. 5. Les signaux obtenus en sortie des récepteurs sont ensuite soumis à une séquence d'étapes  
 15 de traitement comprenant : une étape de décision souple ou dure au moyen des détecteurs ( $610_1, \dots, 610_K$ ) fournissant sous forme souple ou dure les données transmises par les différents utilisateurs, suivie d'une étape de désentrelacement ( $620_1, \dots, 620_K$ ) des données ainsi obtenues, une étape de décodage/encodage canal ( $630_1, \dots, 630_K$ ) et ( $640_1, \dots, 640_K$ ) fournissant une estimation plus fiable des données transmises.  
 20 Avantageusement, cette opération est effectuée au moyen d'un décodage à entrées et à sorties souples (SISO pour Soft Input Soft Output). Le réencodage n'est pas nécessaire si l'on récupère directement les données encodées en sortie de décodage. Par exemple, si l'on utilise en ( $630_1, \dots, 630_K$ ) un algorithme de type SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) les données encodées peuvent être récupérées directement  
 25 le long du chemin de maximum de vraisemblance. Les données ainsi estimées sont ensuite à nouveau entrelacées en ( $650_k$ ) avant d'être remodulées et les symboles réévalés spectralement en ( $660_k$ ) par la signature de l'utilisateur  $k$ . Bien entendu, si le décodage utilisé est à valeurs souples, la remodulation sera également « souple » au sens où elle fournira des symboles résultant de la pondération de symboles de la  
 30 constellation, pondérés par leurs probabilités a posteriori respectives. Chaque symbole réévalé  $\hat{s}_k$  est ensuite filtré par un filtre ( $670_k$ ) modélisant le canal de transmission  $k$  et prenant en compte la géométrie du réseau d'antennes. Plus précisément, le filtre ( $670_k$ ) calcule les expressions suivantes :

$$x_{\ell,k} = \sum_{p=1}^P \hat{s}_k \alpha_{p,k} e^{j\xi_{\ell,p,k}} \text{ pour } \ell=1..L$$

où  $\alpha_{p,k}$  et  $\xi_{\ell,p,k}$  sont les valeurs respectives des coefficients d'atténuation et des déphasages obtenues par le module d'estimation conjointe du récepteur (600<sub>k</sub>).

- 5 On retranche ensuite en (680<sub>k</sub>), pour chaque utilisateur k, au L-uplet de signaux ( $x_{\ell}$ ) reçus par les L antennes, le L-uplet ( $\sum_{k' \neq k} x_{\ell,k'}$ ) pour éliminer la contribution due aux autres utilisateurs. On obtient ainsi K L-uplets de signaux d'antennes partiellement débarrassés de l'interférence multi-utilisateur. Le processus d'élimination peut être itéré en répétant la séquence (600<sub>k</sub>)-(670<sub>k</sub>) à partir de ces
- 10 signaux et en retranchant à chaque fin d'itération, aux signaux ( $x_{\ell}$ ) reçus par les antennes, les contributions nouvellement calculées. Chaque séquence d'un utilisateur de la seconde itération et des itérations suivantes opère sur un jeu (L-uplet) de signaux d'antennes dont les contributions des autres utilisateurs ont été éliminées à l'itération précédente. L'estimation des symboles transmis par les différents utilisateurs gagne
- 15 ainsi en fiabilité au fil des itérations.

- Il est à noter que les opérations de désentrelacement, décodage/encodage canal, et entrelacement sont optionnelles (les blocs (620<sub>k</sub>, 630<sub>k</sub>, 640<sub>k</sub>, 650<sub>k</sub> sont alors absents). Le rééchantillonnage spectral peut s'appliquer directement au symbole estimé. Toutefois, l'utilisation d'un décodage canal (avec bien entendu codage canal
- 20 correspondant à l'émission) permet d'abaisser le taux d'erreurs et donc d'améliorer la fiabilité de l'estimation de l'interférence et, par suite, des symboles transmis.

- En outre, disposant des décisions sur les bits codés ou mieux, des fiabilités sur les bits codés, on peut utiliser ces valeurs dures ou souples, après les avoir remodulées, comme nouveaux symboles pilotes pour l'itération suivante. Si l'on
- 25 disposait initialement par exemple de 40 symboles pilotes répartis parmi 200 symboles codés, on dispose alors dès la deuxième itération de 240 symboles pilotes. Le nombre accru de pilotes permet d'améliorer encore la qualité de l'estimation.

- Enfin, si les caractéristiques des canaux sont déjà connues, c'est-à-dire si les valeurs  $\alpha_{p,k}$  et  $\xi_{\ell,p,k}$  sont connues, on peut se passer de l'emploi des pilotes pour
- 30 l'estimation des directions d'arrivées. En effet, la première itération peut opérer avec un diagramme de réseau d'antennes omni-directionnel (c'est-à-dire sans formation de voies) auquel cas le calcul des  $\hat{\theta}_{p,k}$  n'est pas nécessaire. On dispose ensuite des valeurs du décodage pour effectuer ce calcul dès la seconde itération et appliquer une formation de voies à partir de ces valeurs.

La Fig. 7 illustre un dispositif de détection multi-utilisateur selon un second exemple de réalisation de l'invention.

A la différence de la Fig. 6, l'élimination de l'interférence est ici réalisée en une série de K étapes, K étant le nombre d'utilisateurs. Les contributions des différents utilisateurs dans les signaux reçus sont ordonnées par ordre de puissance décroissante.

5 Pour chaque utilisateur, on sommerá par exemple les modules au carré des sorties des filtres adaptés de l'utilisateur reliés aux différentes antennes et l'on comparera les sommes obtenues.

Pour simplifier le schéma un seul étage a été représenté, chaque étage effectuant une étape d'élimination. Chaque étage comporte en entrée un récepteur de type Rake

10 (700<sub>k</sub>) tel que décrit en Fig. 5. Le récepteur du premier étage reçoit les L signaux d'antennes et le récepteur d'un étage ultérieur reçoit les L signaux de sortie de l'étage précédent. En sortie du récepteur, on procède comme déjà décrit pour la Fig. 6 à une décision souple ou dure (710<sub>k</sub>), un désentrelacement (720<sub>k</sub>), un décodage/réencodage canal (730<sub>k</sub>) et (740<sub>k</sub>), un entrelacement (750<sub>k</sub>), une remodulation et un réétalement

15 (760<sub>k</sub>) des symboles estimés puis un filtrage de canal (770<sub>k</sub>). Les filtres (770<sub>k</sub>) sont identiques aux filtres (670<sub>k</sub>) déjà décrits. Les L signaux de sortie de (770<sub>k</sub>) sont ensuite soustraits en (780<sub>k</sub>) aux L signaux d'entrée de l'étage k pour fournir les L signaux d'entrée de l'étage k+1. On élimine ainsi successivement les contributions des

20 différents utilisateurs en commençant par celles qui créent les plus fortes interférences. Les sorties des filtres de canal (770<sub>k</sub>) des différents étages 1..K peuvent être utilisées, comme celles des filtres de canal (670<sub>k</sub>) de la Fig. 6, afin de régénérer, pour chaque utilisateur k, sa contribution aux signaux d'antennes, sous la forme d'un L-uplet ( $x_{k,k}$ ). Les contributions des différents utilisateurs sont soustraites une à une

25 par les sommateurs (780<sub>k</sub>) des différents étages.

On peut envisager de faire suivre une phase d'élimination série (Fig. 7) par une phase l'élimination parallèle (Fig. 6). Plus généralement, on peut grouper les canaux par « paquets » correspondant à des utilisateurs de même région spatiale ou de puissances voisines, on peut traiter les interférences entre paquets tout d'abord, puis

30 les interférences entre utilisateurs de même paquet ensuite. Le traitement inter-paquet peut être d'un type (série ou parallèle) distinct de celui intra-paquet.

La Fig. 8 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un troisième exemple de réalisation de l'invention.

Ce mode de réalisation utilise le principe d'élimination ZF-DF exposé en introduction. Les sorties des antennes 1..L sont reliées à une batterie de K récepteurs de type Rake ayant la structure décrite en Fig. 5. Les signaux de sortie des récepteurs sont soumis à une multiplication matricielle (805) par la matrice  $(F^T)^{-1}$  où F est la

5 matrice triangulaire inférieure obtenue par décomposition de Cholesky de la matrice de corrélation R des signatures des différents utilisateurs ( $R=F^T.F$ ). Chaque ligne de sortie de la multiplication matricielle comprend une série de modules (810<sub>k</sub>) à (870<sub>k</sub>) ayant les mêmes fonctions que les modules (710<sub>k</sub>) à (770<sub>k</sub>) correspondants. Le module (860<sub>k</sub>) a été ici représenté en deux parties à savoir (861<sub>k</sub>) pour la fonction de

10 modulation et (862<sub>k</sub>) pour la fonction de réétalement spectral. Le signal de sortie d'un module d'entrelacement (850<sub>k</sub>) est soustrait aux entrées respectives des étages ultérieurs k', k'>k en (807<sub>k',k</sub>), après multiplication en (806<sub>k',k</sub>) par le coefficient  $A_{k,k'}.F_{k,k'}$ . Le choix de la sortie de (861<sub>k</sub>) et non de la sortie de (810<sub>k</sub>) remodulée

15 profit du décodage canal pour affiner l'élimination d'interférence à l'étage suivant. On obtient en sortie de chaque filtre de canal (870<sub>k</sub>) un L-uplet  $(x_{\ell,k})$ . Comme dans la méthode d'élimination parallèle, on retranche en (880<sub>k</sub>), pour chaque utilisateur k, à chaque L-uplet de signaux de sortie d'antenne  $(x_{\ell,k})$  le L-uplet  $(\sum_{k' \neq k} x_{\ell,k'})$  pour éliminer la contribution due aux utilisateurs autres que k. On procède donc à une élimination de

20 type série et une élimination de type parallèle. Comme dans la méthode d'élimination parallèle, le processus décrit peut être itéré.

La Fig. 9a représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un quatrième mode de réalisation de l'invention.

Ce mode de réalisation étend le mode d'élimination parallèle au sens où il

25 intègre désormais une fonction de « multi-égalisation » que nous expliciterons plus loin. Les numéros de référence indiqués sont les translatés de ceux de la Fig. 6 lorsqu'ils correspondent à des fonctions identiques. Le dispositif représenté en Fig. 9a diffère néanmoins de celui de la Fig. 6 en ce qu'il comprend un filtre linéaire (905) en amont des modules de décision (910<sub>k</sub>). Ce filtrage a pour but de prendre en compte les

30 sorties des récepteurs de type Rake (900<sub>k</sub>) à différents instants d'échantillonnage dans l'élimination de l'interférence. Le filtre (905) est un filtre temporel linéaire transverse qui joue un rôle équivalent à celui d'un égaliseur linéaire transverse classique lorsqu'un seul utilisateur est considéré. A la différence de ce dernier cependant, le filtre (905) est un filtre matriciel qui opère sur des vecteurs de taille K et utilise donc

des matrices de taille  $K \times K$  au lieu de coefficients scalaires, le nombre de telles matrices correspondant au nombre de prises temporelles du filtre. Les coefficients diagonaux des différentes matrices permettent l'égalisation proprement dite alors que les coefficients hors des diagonales permettent de prendre en compte les réponses temporelles des différents canaux dans la réjection de l'interférence entre utilisateurs. Tout comme son homologue mono-utilisateur le filtre transversal (905) peut être optimisé par une technique connue comme celle de forçage à zéro (Zero Forcing ou ZF) ou de minimisation de l'erreur quadratique moyenne (Minimum Mean Square Error ou MMSE).

La Fig. 9b représente de manière équivalente le dispositif de la Fig. 9a en faisant ressortir le caractère de traitement vectoriel des différents modules (900) à (980) chaque module intégrant respectivement les modules  $(900_1, \dots, 900_K), \dots, (980_1, \dots, 980_K)$  de la Fig. 9a (par exemple, le module (900) est une batterie de récepteurs de type Rake). Le filtre matriciel (905) reste bien entendu inchangé.

La Fig. 10 représente un dispositif de détection multi-utilisateur selon un cinquième mode de réalisation de l'invention.

Ce mode de réalisation transpose la technique d'égalisation par retour de décision (Decision Feedback ou DF) au contexte multi-utilisateur. Les modules (1000), (1010), ..., (1080) sont des modules identiques aux modules (900), (910), ..., (980) de la Fig. 9, chaque module opérant, on l'a dit, sur un vecteur à  $K$  composantes. Le module (1060) a été ici représenté en deux parties (1061) et (1062) pour séparer la fonction de modulation (1061) de celle d'étalement spectral (1062). Le dispositif comprend un filtre transverse précurseur (1005) identique au filtre (905) et un filtre postcurseur (1007) filtrant la sortie réentrelacée et remodulée du module (1061). La sortie du filtre postcurseur est soustraite (1006) à l'entrée du module de décision (1010). L'ensemble constitué par le filtre transverse (1005) et le filtre de contre-réaction (1007) peut être là aussi optimisé selon une technique connue, ZF ou MMSE par exemple. Dans le premier cas, ce mode de réalisation peut être vu comme une généralisation du mode ZF-DF exposé en Fig. 8.

Le filtre postcurseur (1007) doit être causal de manière à assurer que l'on n'ait pas à retrancher la contribution d'échantillons temporels non encore disponibles au moment de la soustraction à l'échantillon courant. Ceci peut notamment imposer des contraintes sur la longueur de l'entrelacement. Alternativement, le filtre postcurseur (1007) filtrera la sortie du module de décision (1010) remodulée ce qui permettra de

relaxer la contrainte de causalité au prix toutefois de l'abandon du bénéfice du décodage canal dans l'évaluation de l'interférence inter-symbole par le filtre postcurseur.

5 Les modes de réalisation illustrés en Fig. 9 et 10 utilisent tous deux une « multi-  
égalisation » dérivée de l'égalisation mono-utilisateur symbole par symbole. Il est  
cependant clair pour l'homme du métier que l'invention est également susceptible de  
généralisation à la famille des techniques d'égalisation à estimation de séquences de  
symboles, à savoir MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation), DDFSE  
10 (Delayed Decision Feedback Sequence Estimation), RSSE (Reduced State Sequence  
Estimation) etc. Toutes ces techniques sont également transposables au moyen de  
l'invention à la situation multi-utilisateur.

Bien que l'invention ait été essentiellement illustrée, pour des raisons de  
commodité au moyen de modules exécutant certaines fonctions, il est clair cependant  
que toutes ou une partie seulement de ces fonctions peuvent être exécutées par un  
15 processeur programmé à cet effet.

## REVENDICATIONS

- 1) Méthode de détection multi-utilisateur avec élimination d'interférence entre utilisateurs, chaque utilisateur transmettant des données modulées sous forme de symboles sur un canal de transmission, chaque canal de transmission ( $k$ ) comprenant au moins un trajet de propagation ( $p$ ) et chaque trajet de propagation arrivant sur un
- 5 réseau d'antennes ( $\ell$ ) de réception selon une direction d'arrivée  $\theta_{p,k}$ , la méthode comprenant au moins une séquence d'étapes pour chaque utilisateur, caractérisée en ce que chaque séquence comprend :
- (a) une étape d'estimation du signal transmis (500<sub>k</sub>, 600<sub>k</sub>, 700<sub>k</sub>, 800<sub>k</sub>, 900<sub>k</sub>, 900, 1000) par l'utilisateur à partir des signaux d'antennes,
  - 10 ladite étape effectuant une estimation (530<sub>p</sub>) de la direction d'arrivée ( $\theta_{p,k}$ ) et de caractéristiques ( $\alpha_{p,k}, \nu_{p,k}$ ) de propagation de chaque trajet ( $p$ ) du canal de transmission ( $k$ ) à partir desdits signaux ;
  - (b) une étape d'estimation des données transmises (610<sub>k</sub>, 710<sub>k</sub>, 810<sub>k</sub>, 910<sub>k</sub>, 910, 1010) par l'utilisateur à partir de ladite estimation du signal
  - 15 transmis ;
  - (c) une étape d'estimation de la contribution (670<sub>k</sub>, 770<sub>k</sub>, 870<sub>k</sub>, 970<sub>k</sub>, 970, 1070) de l'utilisateur aux signaux reçus par les différentes antennes à partir des données estimées à l'étape (b) et de la direction d'arrivée ainsi que les caractéristiques de propagation estimées à l'étape (a) ;
  - 20 (d) une étape d'élimination d'interférence (680<sub>k</sub>, 780<sub>k</sub>, 880<sub>k</sub>, 980<sub>k</sub>, 980, 1080) soustrayant aux signaux d'antennes la contribution estimée à l'étape (c) pour obtenir des signaux d'antennes épurés ; les signaux d'antennes épurés fournis par au moins une première séquence étant utilisés comme signaux d'antennes par au moins une
  - 25 seconde séquence.

2) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 1, caractérisée en ce que, pour un utilisateur donné  $k$ , l'interférence est éliminée en soustrayant  $(680_k, 880_k)$  aux signaux d'antennes les contributions de tous les autres utilisateurs.

5        3) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 1, caractérisée en ce que les utilisateurs sont classés par ordre de puissance reçue et que l'interférence est éliminée en soustrayant  $(780_k)$  l'une après l'autre les contributions des différents utilisateurs en commençant par les utilisateurs de plus fortes puissances reçues.

10

4) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, pour chaque utilisateur  $k$ , ladite séquence comprend après l'étape d'estimation desdites données  $(610_k, 710_k, 810_k, 910_k, 1010)$ , une étape de désentrelacement  
15  $(620_k, 720_k, 820_k, 920_k, 1020)$  suivie d'une étape de décodage canal  $(630_k, 730_k, 830_k, 930_k, 1030)$ , de codage canal  $(640_k, 740_k, 840_k, 940_k, 1040)$  et d'une étape d'entrelacement  $(650_k, 750_k, 850_k, 950_k, 1050)$  desdites données.

5) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications  
20 précédentes, caractérisée en ce que, pour chaque utilisateur  $k$ , ladite séquence comprend préalablement à l'étape d'estimation de la contribution  $(670_k, 770_k, 870_k, 970_k, 1070)$  de l'utilisateur aux signaux reçus, une étape de modulation et de réétalement spectral  $(660_k, 760_k, 860_k, 960_k, 1060)$  au moyen de la signature ayant servi à étaler spectralement les symboles dudit utilisateur.

25

6) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, les estimations des signaux transmis des utilisateurs étant considérées comme un vecteur d'estimations à  $K$  composantes où  $K$  est le nombre d'utilisateurs, ledit vecteur est soumis à un filtrage matriciel transverse  
30  $(905, 1005)$  avant l'étape de décision  $(910, 1010)$ .



7) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 6, caractérisée en ce que, les données estimées et remodulées des utilisateurs étant considérés comme un vecteur de symboles à K composantes, ledit vecteur de symboles est  
 5 soumis à un filtrage matriciel postcurseur (1007) et la sortie de ce filtrage est soustraite, vecteur à vecteur, à la sortie du filtrage matriciel transverse (1005).

8) Méthode de détection multi-utilisateur selon les revendications 4, 5 et 6, caractérisée en ce que, les symboles issus de l'étape de modulation (1061) étant  
 10 considérés comme un vecteur de symboles à K composantes, ledit vecteur de symboles est soumis à un filtrage matriciel postcurseur (1007) et la sortie de ce filtrage est soustraite, vecteur à vecteur, à la sortie du filtrage matriciel transverse (1005).

15 9) Méthode de détection multi-utilisateur selon les revendications 2 et 4, caractérisée en ce que les estimations des signaux transmis par les différents utilisateurs sont soumis à une multiplication matricielle (805) par une matrice  $(F^T)^{-1}$  avant l'étape d'estimation des données, où  $F^T$  est la transposée de la matrice triangulaire inférieure F obtenue par décomposition de Cholesky de la matrice de  
 20 corrélation des signatures ayant servi à étaler spectralement les symboles desdits utilisateurs, l'interférence étant éliminée, pour un utilisateur k donné, dans une première phase, en soustrayant  $(807_{k',k})$  de la  $k^{ième}$  composante du produit matriciel la somme  $\sum_{i=1}^{k-1} A_i F_{k,i} \hat{s}_i$  où  $A_i$  est l'amplitude du signal transmis par l'utilisateur i,  $\hat{s}_i$  est le  
 symbole obtenu par remodulation  $(861_k)$  des données estimées de l'utilisateur i et  $F_{k,i}$   
 25 le  $(k,i)$  ième élément de la matrice F, l'estimation des données transmises par l'utilisateur k étant effectuée à partir de la  $k^{ième}$  composante après ladite soustraction et, dans une seconde phase, en soustrayant  $(880_k)$  aux signaux reçus par les différentes antennes, la somme des contributions de tous les autres utilisateurs.

10) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, pour chaque utilisateur  $k$ , l'étape d'estimation du signal transmis par l'utilisateur, sur le canal de transmission ( $k$ ), comprend une formation de voies ( $520_1, \dots, 520_p$ ) dans les directions d'arrivée des différents trajets de propagation ( $p$ ) dudit canal.

11) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 10, caractérisée en ce que la formation de voie ( $520_p$ ) pour un trajet de propagation d'un canal de transmission place des zéros dans les directions d'arrivée des autres trajets de propagation du même canal de transmission.

12) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 11, caractérisée en ce que la formation de voie ( $520_{p,k}$ ) pour un trajet de propagation ( $p$ ) d'un canal de transmission ( $k$ ) place des zéros dans les directions d'arrivée de tous les trajets de propagation des autres canaux de transmission.

13) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisée en ce que, pour chaque canal de transmission ( $k$ ), les résultats de formation de voies sont pondérés ( $540_{1,k}, \dots, 540_{p,k}$ ) par des coefficients complexes puis sommés, lesdits coefficients étant obtenus à partir des caractéristiques estimées ( $\hat{\alpha}_{p,k}, \hat{\nu}_{p,k}$ ) de propagation des différents trajets ( $p$ ) du canal de transmission ( $k$ ).

14) Méthode de détection multi-utilisateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, pour chaque utilisateur  $k$ , les directions d'arrivée et les caractéristiques de propagation des différents trajets sont estimées à partir de la connaissance a priori d'un symbole transmis par ledit utilisateur.

15) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 2 ou bien 4 à 14 en dépendance avec 2, caractérisée en ce qu'elle comprend l'itération d'un ensemble de séquences, chaque séquence d'un utilisateur de la seconde itération et

des itérations suivantes opérant sur le jeu de signaux d'antennes dont les contributions des autres utilisateurs ont été éliminées à l'itération précédente.

5 16) Méthode de détection multi-utilisateur selon la revendication 15, caractérisée en ce que, à la première itération, pour chaque utilisateur, les directions d'arrivée et les caractéristiques de propagation des différents trajets sont estimées à partir de la connaissance a priori d'au moins un symbole pilote transmis par ledit utilisateur et qu'aux itérations ultérieures cette estimation est effectuée à partir d'au moins une donnée estimée et remodulée à une itération précédente en sus dudit  
10 symbole pilote

17) Méthode de détection multi-utilisateur selon les revendications 10 et 15, caractérisée en ce que, les caractéristiques de propagation des différents trajets étant connues a priori, la première itération opère sans formation de voies, en mode omni-  
15 directionnel, la formation de voies étant appliquée dès la seconde itération.

18) Dispositif de détection multi-utilisateur caractérisé en ce qu'il comprend des moyens adaptés à mettre en œuvre la méthode selon l'une des revendications précédentes.  
20

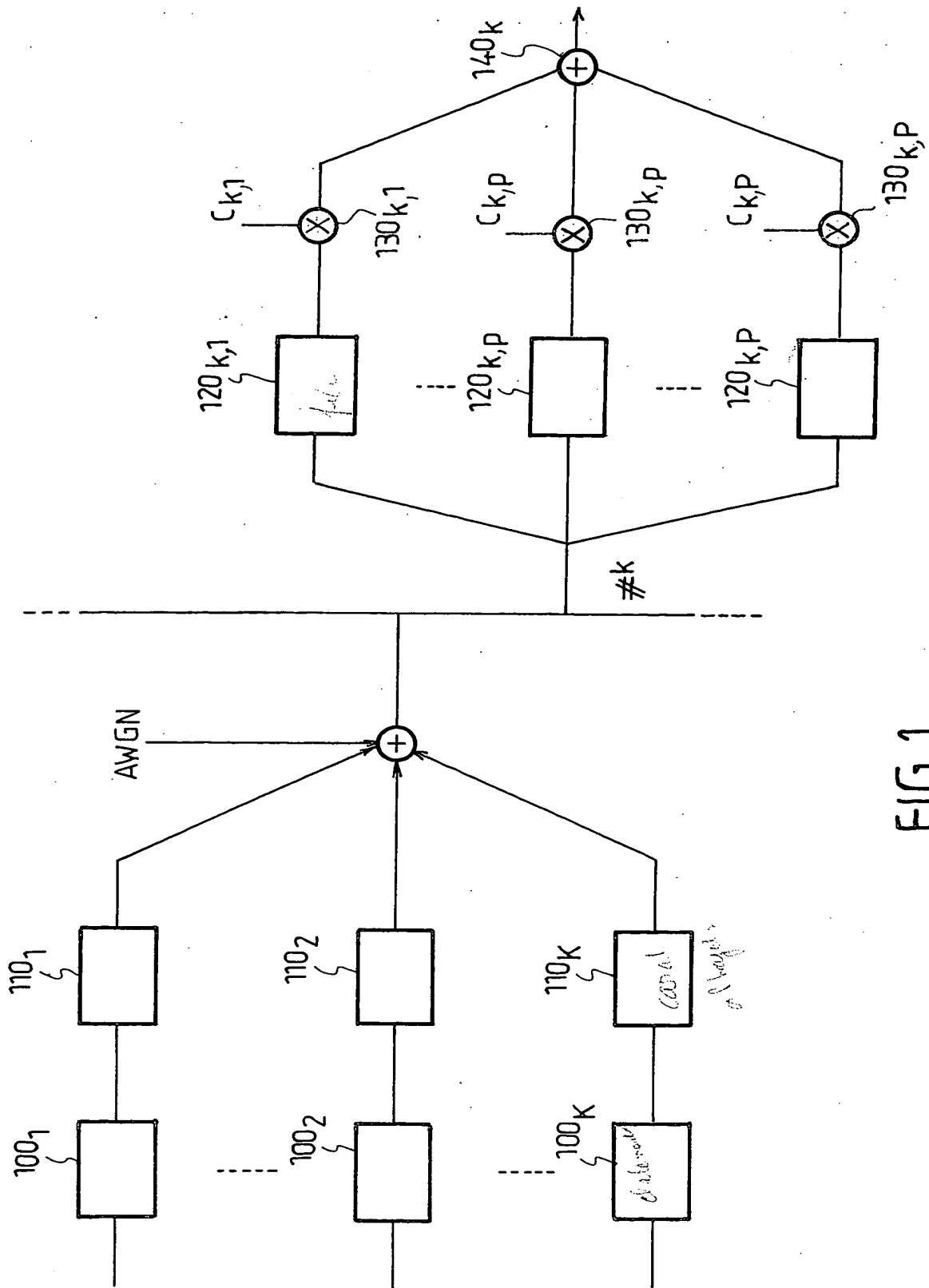


FIG. 1

Elimination // de l'élément

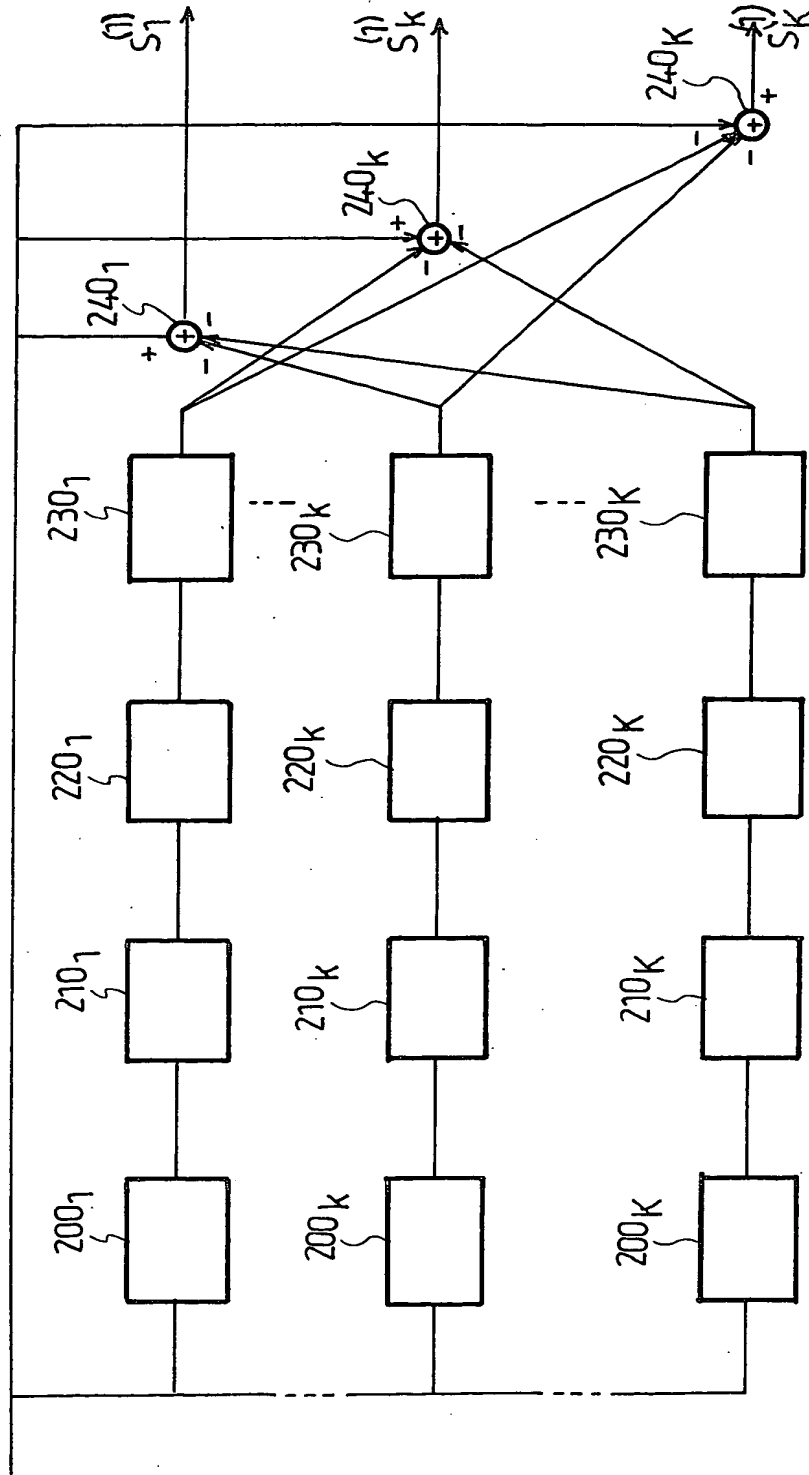


FIG. 2

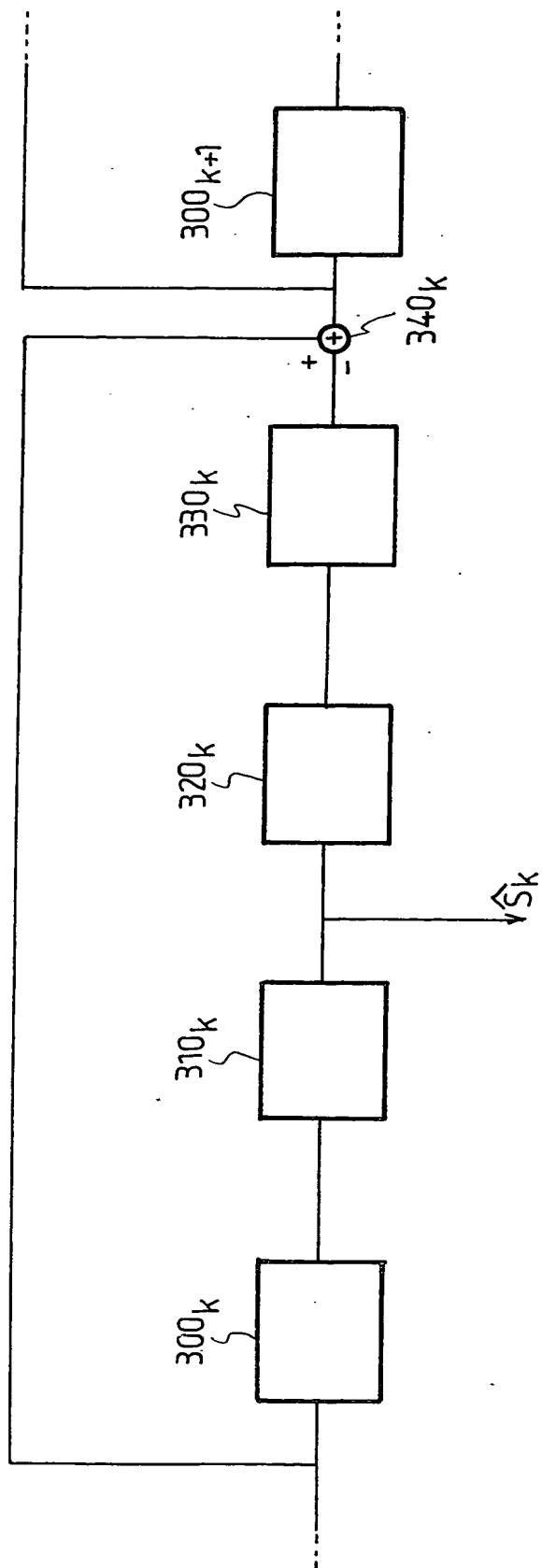


FIG.3

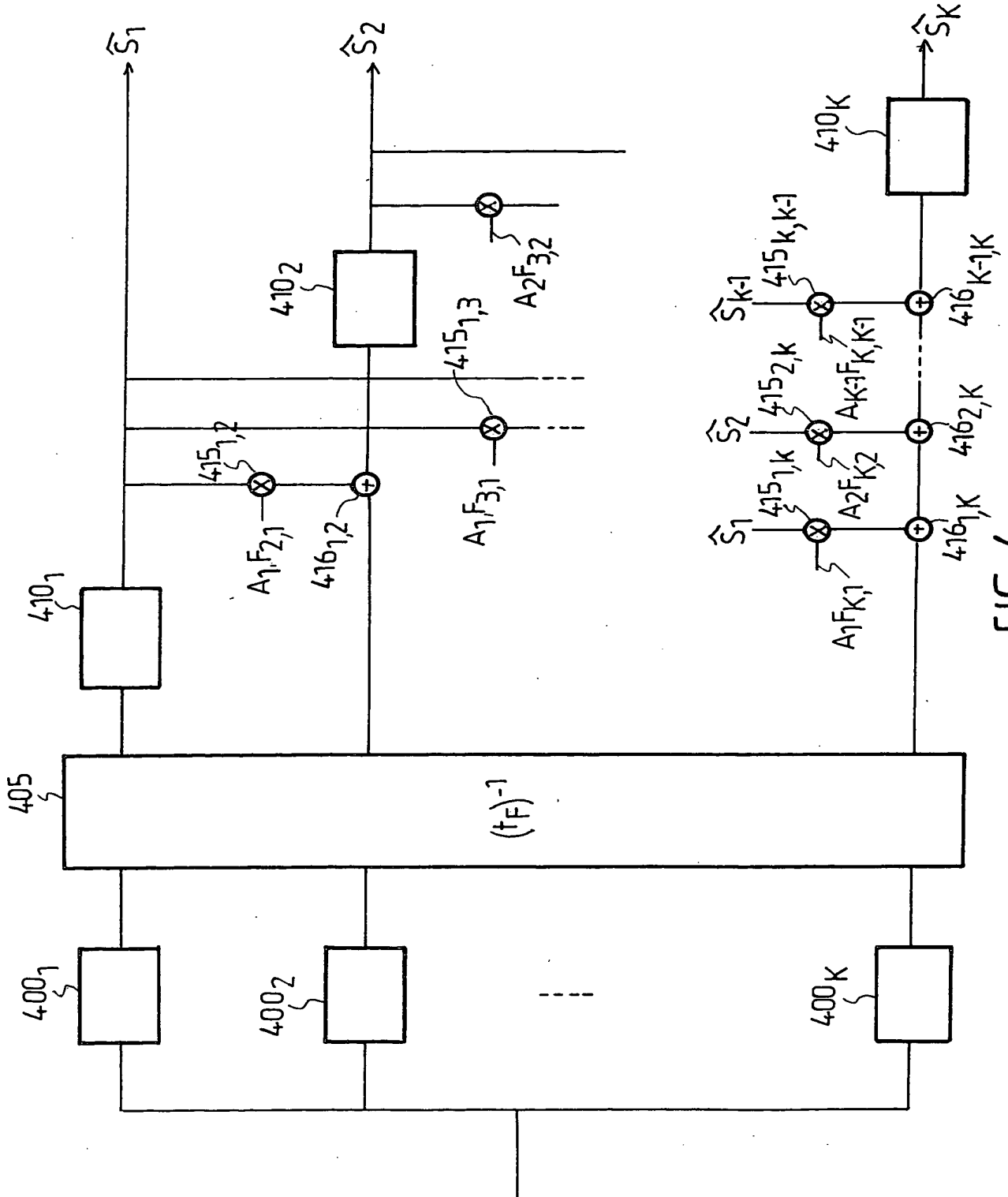
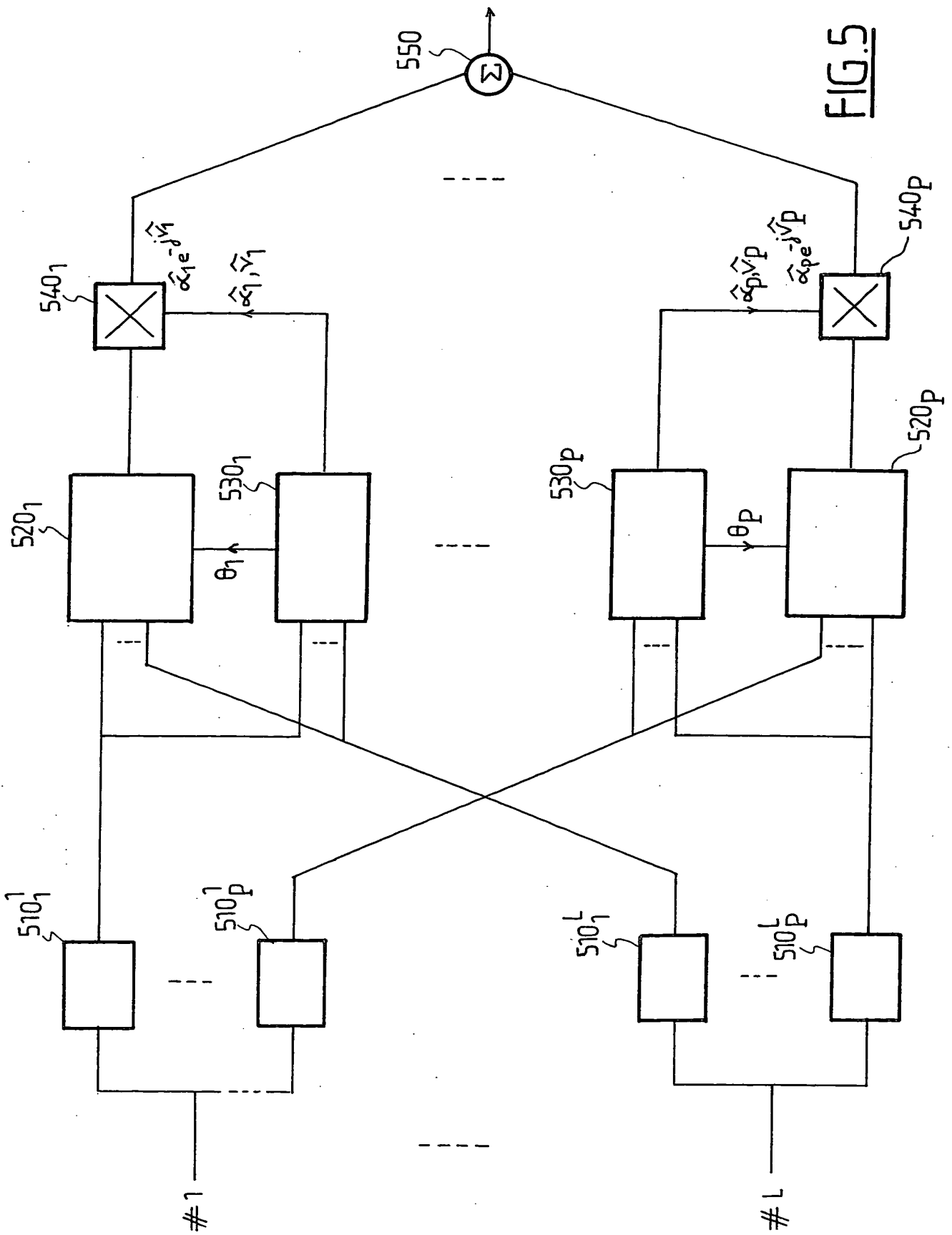


FIG. 4





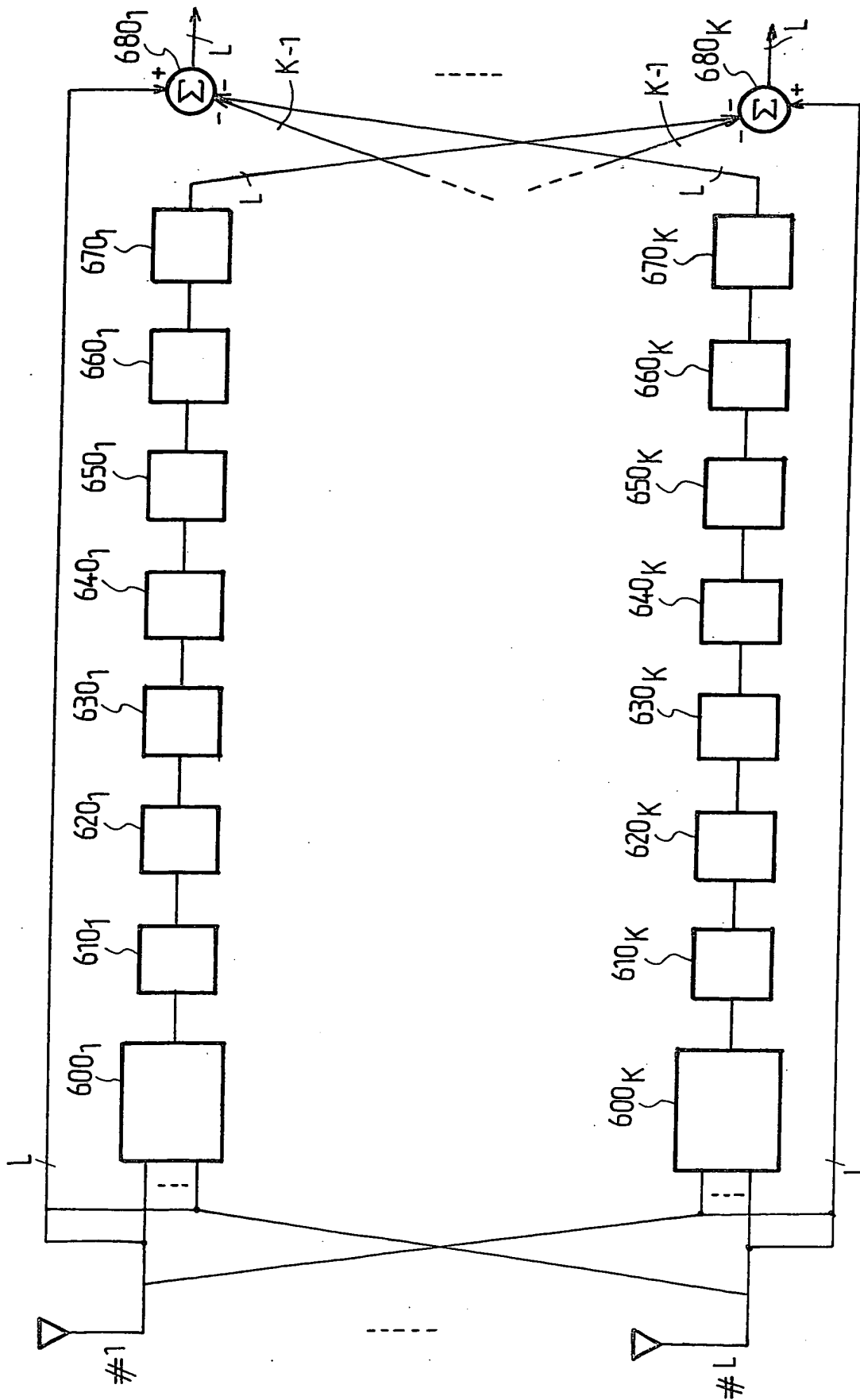


FIG.6

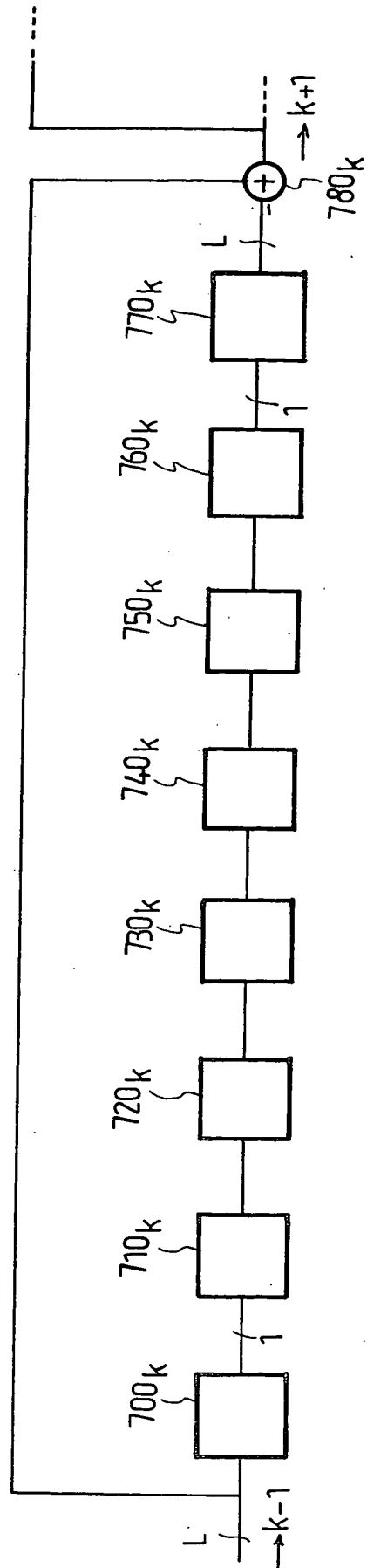


FIG. 7

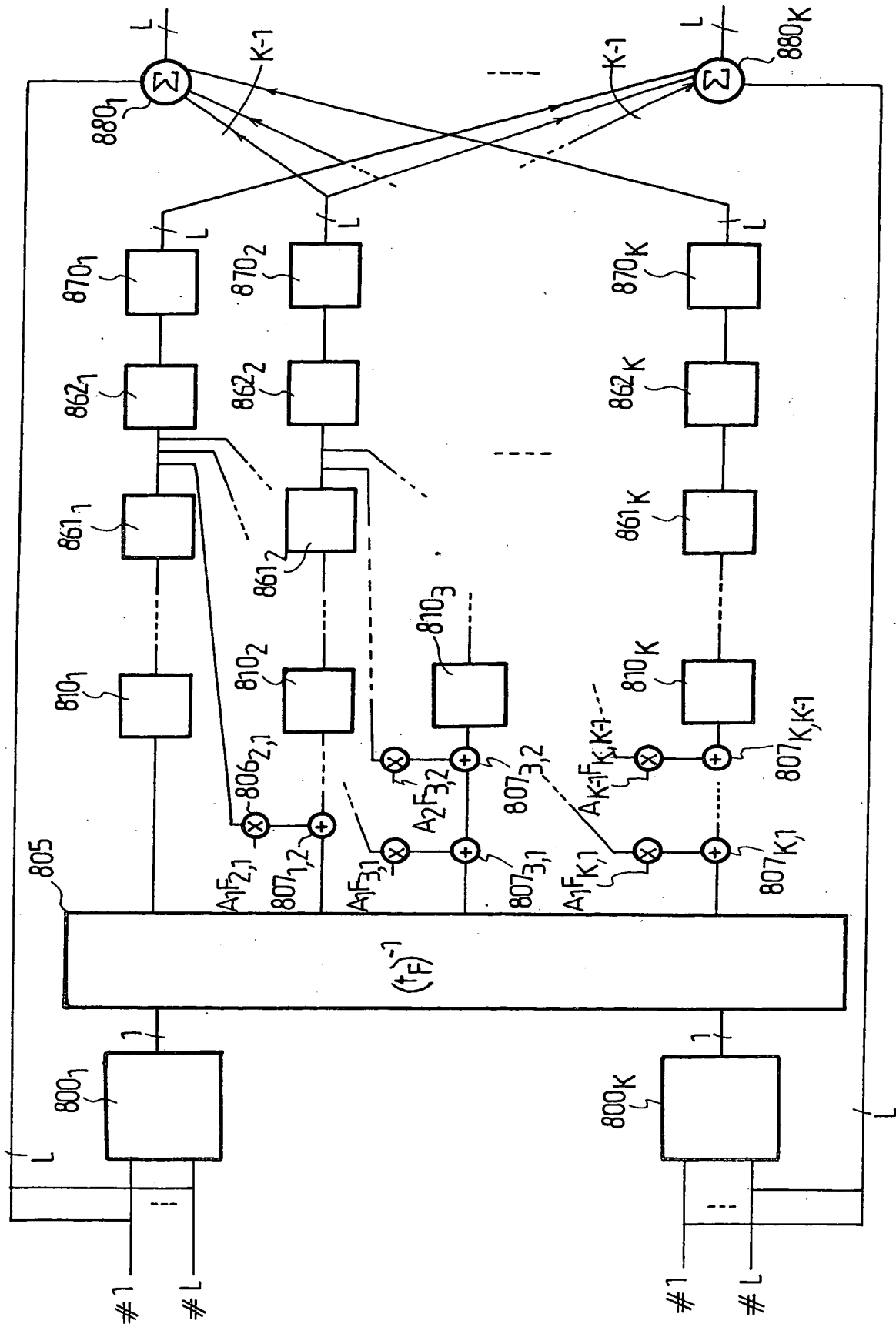


FIG. 8

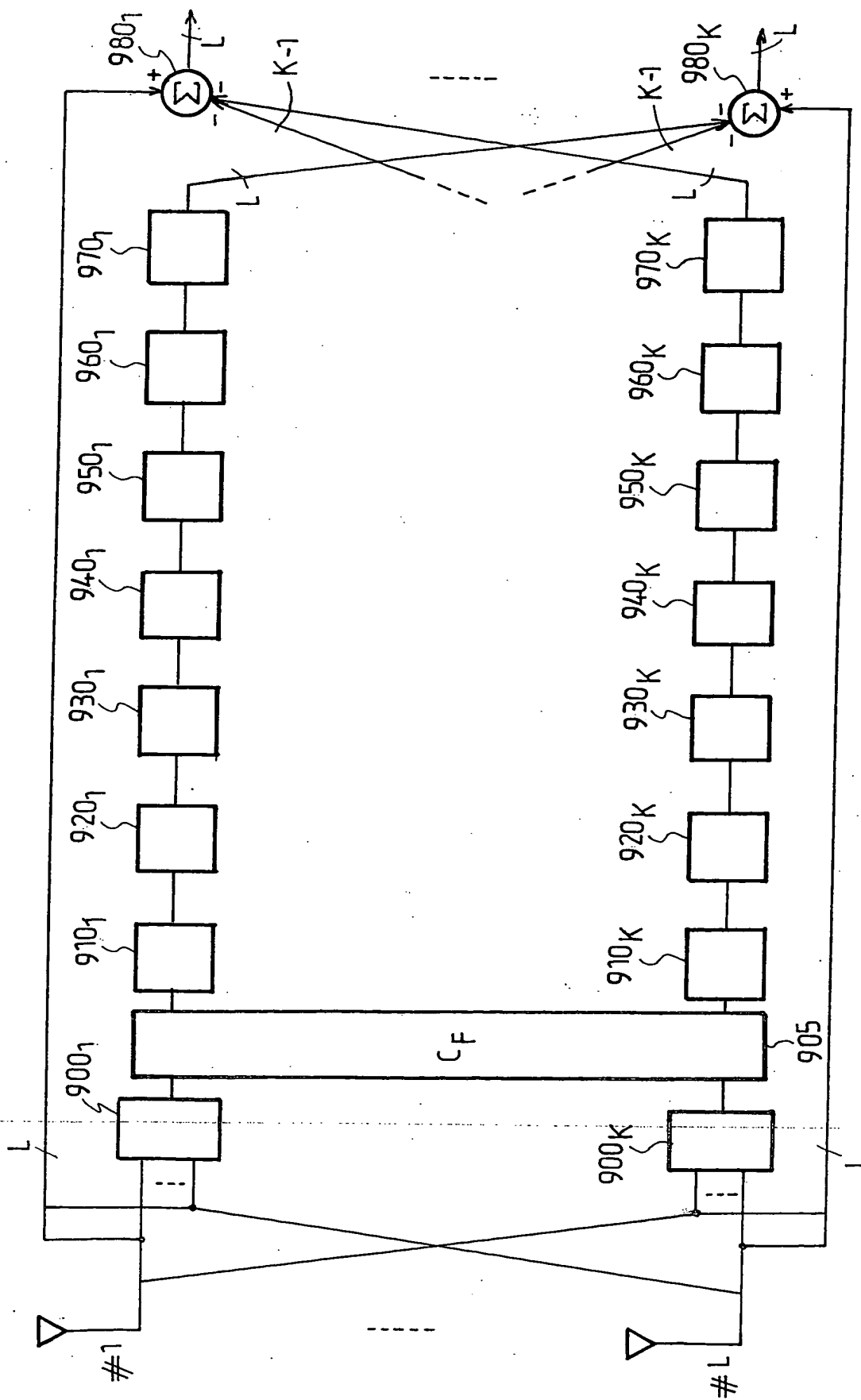


FIG.9a

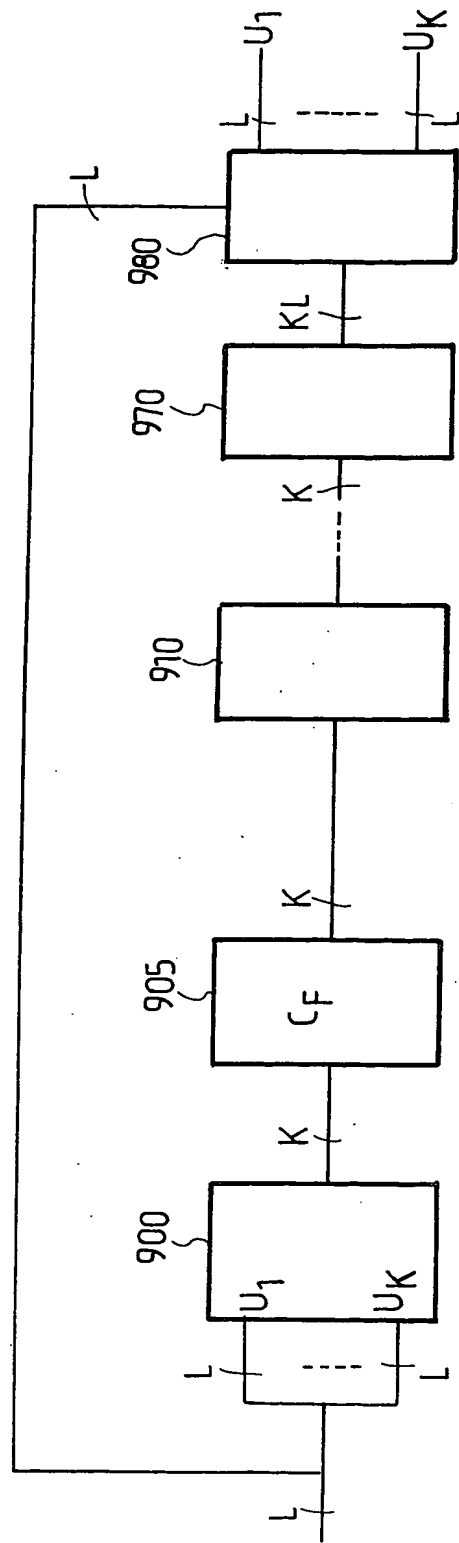


FIG. 9b

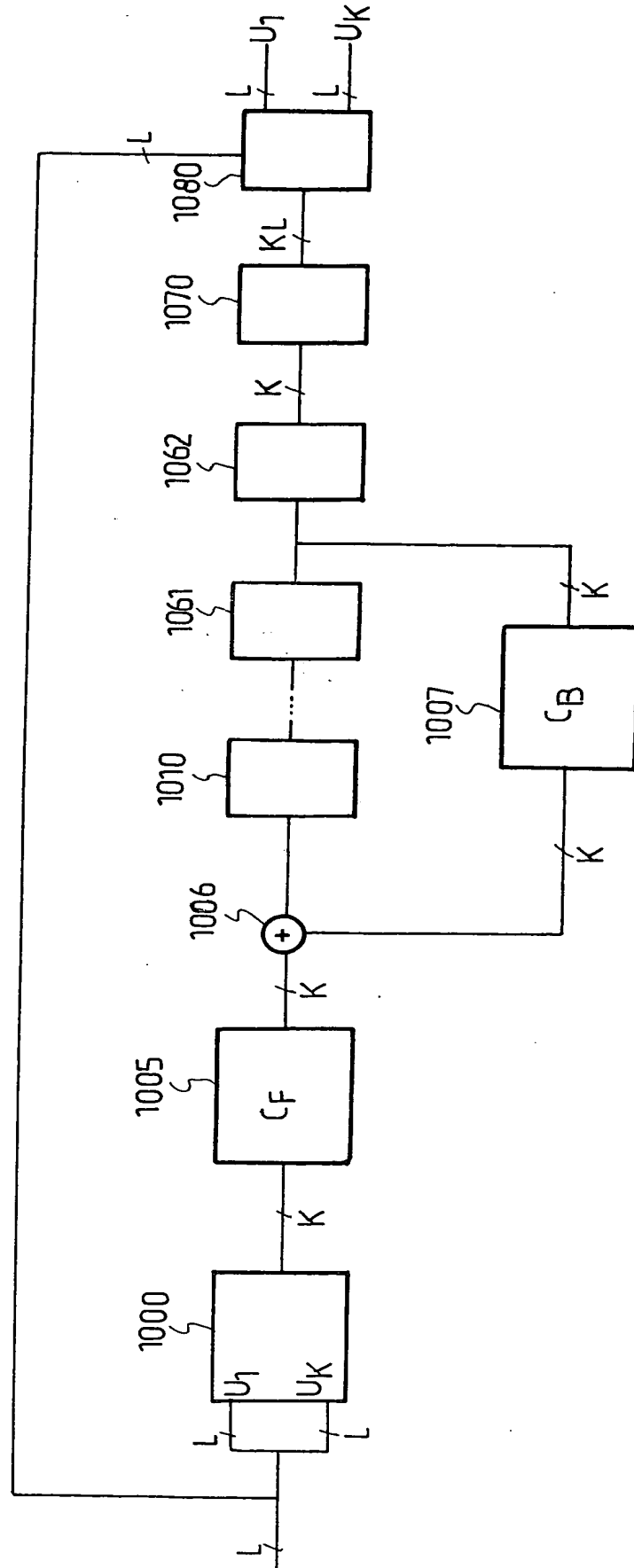


FIG. 10

**This Page Blank (uspl,**

**This Page Blank (uspto)**



**22850**

WASHINGTON, THOMAS M. BATES

(703) 413-3000

DOCKET NO.: **211929 US 2**

INVENTOR: **Loïc BRUNEL**